



**Relación entre el nivel de endeudamiento financiero y la rentabilidad de
Interconexión Eléctrica S. A., ISA (2016-2023)**

Relationship between the level of financial debt and profitability of
Interconexión Eléctrica S.A., ISA (2016-2023)

Por
Mateo Steven Saldarriaga Guaranga¹

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de
Magíster en Administración Financiera – MAF

Asesor
Alejandro Cadavid Gil²

Universidad EAFIT
Escuela de Economía y Finanzas
Maestría en Administración Financiera – MAF
Medellín
2025



¹ mssaldarrg@eafit.edu.co; mssaldarriaga@isa.com.co

² Magíster en Ciencias en Finanzas, Universidad de Leicester (UK).

Vicepresidente de Auditoría de Inversiones y Riesgos, SURA Investments.

© 2025 Mateo Saldarriaga
Todos los Derechos Reservados

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a las personas que contribuyeron en esta tesis:

A mi asesor, Alejo, por su apoyo, orientación y enseñanza en este proceso, no solo como mi profesor de Modelación Financiera, sino también como mi mentor.

A David Mauricio Cadena Cárdenas, por su apoyo técnico, sus cuestionamientos constructivos y los conocimientos compartidos desde su formación como economista.

A Juan Camilo Atehortúa Jiménez, Cami, por su apoyo incondicional y contribución a mi bienestar durante este proceso, no solo en la elaboración de mi tesis, sino también a lo largo de mi formación como magíster.

A todos, muchas gracias por su apoyo y contribuciones. Siempre serán parte de esta etapa que cierro con orgullo, felicidad y gratitud.

—Mate.

Resumen

Este estudio analiza la relación entre el nivel de endeudamiento financiero y la rentabilidad de Interconexión Eléctrica S. A. (ISA) en el período 2016-2023. A través de un enfoque cuantitativo se utilizó un modelo de regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS, *ordinary least square*) regularizado por un modelo de regresión Ridge, para determinar cómo el apalancamiento financiero influye en la rentabilidad (*return on equity*, ROE).

Los resultados permitieron identificar la influencia del endeudamiento y muestran cómo los componentes de la deuda (las obligaciones financieras y los bonos emitidos) afectan el desempeño financiero de la empresa.

Las conclusiones aportan información de valor tanto para los inversionistas como para la administración de la empresa sobre cómo los determinantes asociados al apalancamiento financiero afectan la rentabilidad sobre el patrimonio.

Palabras claves: endeudamiento financiero, rentabilidad sobre el patrimonio (ROE), estructura de capital, finanzas corporativas.

Abstract

This study examines the relationship between the level of financial indebtedness and the profitability of ISA (Interconexión Eléctrica S.A.) over the period 2016-2023. Through a quantitative approach, a multiple linear regression model, regularized by a Ridge regression, was used to assess how financial leverage influences profitability (ROE).

The results identified the impact of leverage and revealed how the components of debt (financial obligations and issued bonds) affect the company's financial performance.

The conclusions provide valuable insights for both the company's investors and management regarding how determinants associated with financial leverage affect return on equity.

Keywords: Financial indebtedness, return on equity, capital structure, corporate finance.

Contenido

1. Introducción	1
1.1 Situación de estudio	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
2. Marco de referencia conceptual	4
2.1 Endeudamiento y estructura de capital	4
2.2 El ROE como métrica de rentabilidad	4
2.3 La teoría del apalancamiento financiero y la rentabilidad	4
2.3.1 Impacto del apalancamiento financiero en la rentabilidad	5
2.4 Aplicación de modelos econométricos	6
3. Metodología	7
3.1 Enfoque de la investigación	7
3.2 Tipo de investigación	7
3.3 Población y muestra	7
3.4 Método de análisis y simulación	7
4. Resultados	9
4.1 Rentabilidad (ROE) y deuda histórica de ISA	9
4.2 Resultados del modelo de regresión mínimos cuadrados ordinarios (OLS)	11
4.3 Resultados del modelo de regresión Ridge sobre OLS	13
4.4 Resultados predictivos sobre el ROE por cambios en las variables	14
4.4.1 Impacto de las variaciones en el saldo de los bonos emitidos	14
4.4.2 Impacto de las variaciones en el saldo de las obligaciones financieras	14
5. Conclusiones y recomendaciones	16
5.1 Conclusiones	16
5.2 Recomendaciones	17
Referencias	19
Apéndices	21
Apéndice 1. Información complementaria del modelo original de mínimos cuadrados ordinarios (OLS)	21
Apéndice 2. Información complementaria del modelo Ridge sobre OLS	23

Índice de tablas

Tabla 1. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimación de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS).....	11
Tabla 2. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo OLS	12
Tabla 3. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimaciones del modelo Ridge: coeficientes regularizados y VIF.....	13

Índice de figuras

Figura 1. Interconexión Eléctrica (ISA). Obligaciones financieras (2016-2023)	9
Figura 2. Interconexión Eléctrica (ISA). Bonos emitidos (2016-2023).....	10
Figura 3. Interconexión Eléctrica (ISA). Rentabilidad y deuda histórica (2016-2023)	10
Figura 4. Interconexión Eléctrica (ISA). Estadística descriptiva de los datos	21
Figura 5. Interconexión Eléctrica (ISA). Matriz de correlaciones. Modelo OLS	21
Figura 6. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimaciones del modelo OLS	22
Figura 7. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo OLS	22
Figura 8. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimación del modelo Ridge	23
Figura 9. Interconexión Eléctrica (ISA). Estadísticas R-cuadrado y RMSE del modelo Ridge	23
Figura 10. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo Ridge	23
Figura 11. Interconexión Eléctrica (ISA). Prueba de heterocedasticidad	23
Figura 12. Interconexión Eléctrica (ISA). Prueba de especificación RESET	24

1. Introducción

La relación entre el nivel de endeudamiento financiero y la rentabilidad de las empresas no es solo un tema importante en las finanzas corporativas, sino también una cuestión clave en industrias como las del sector energético, donde el apalancamiento financiero puede determinar en gran medida su estabilidad y crecimiento a largo plazo. De ahí que el objetivo de este trabajo de investigación sea analizar la relación entre los niveles de apalancamiento financiero y las medidas de rentabilidad seleccionadas en el caso de Interconexión Eléctrica S. A. —en adelante ISA o la Compañía—, una de las empresas de infraestructura energética más grandes de América Latina.

ISA es un importante jugador en el sector de la transmisión de energía en Colombia, así como otros países de la región, incluidos Brasil, Chile, Perú y Centroamérica. El objetivo principal de la investigación es determinar cómo el endeudamiento de la Compañía ha influido en su rentabilidad en el período comprendido entre 2016 y 2023, presentando una visión cuantitativa del impacto del apalancamiento financiero en su rentabilidad a través de un modelo de regresión lineal múltiple de mínimos cuadrados ordinarios (*ordinary least square*, OLS) regularizado, Ridge, para evaluar dicha relación e identificar la sensibilidad del ROE (*return on equity*, rentabilidad financiera) frente a las variables de endeudamiento.

Este caso de estudio es particularmente relevante debido a la posición predominante de la Compañía en el sector energético y su significativa exposición al financiamiento externo vía las obligaciones financieras y los bonos. Desde 2016, su estructura financiera ha sido cambiante, con una relación *Financial debt/Equity* de 43,72 % que, al finalizar 2023, quedó en una proporción de 54,03 %: un aumento de 10,31 % en ocho años. Por esta razón, el estudio presenta enfoque en la interacción entre estas fuentes de deuda y sus influencias en la rentabilidad de la Compañía. Adicionalmente, la investigación se contextualiza en un período marcado por tendencias macroeconómicas, lo que ofrece una visión del apalancamiento financiero en un entorno volátil.

Este análisis no solo es relevante para los académicos interesados en la relación entre estructura de capital y rentabilidad y su demostración a través de modelos cuantitativos, sino también para los inversionistas y la administración de la Compañía, que enfrentan la continua tarea de equilibrar las decisiones de financiamiento con el objetivo de maximizar la rentabilidad sin comprometer la solvencia a largo plazo. Los resultados de esta investigación proporcionarán valiosa información sobre los impactos del endeudamiento para ISA.

1.1 Situación de estudio

Al finalizar 2023, la Compañía tenía COP 71,2 billones en activos —frente a COP 38,5 billones en 2016—, compuestos principalmente por activos fijos generadores de ingresos por transmisión de energía eléctrica en Colombia y concesiones de infraestructura energética y vial en Brasil, Chile, Perú, Panamá y otros países de Latinoamérica. En esa misma fecha, su deuda financiera (los pasivos financieros) era de COP 31,1 billones —frente a COP 12,5 billones en 2016—, compuesta por las obligaciones financieras y los bonos emitidos. A 2016, la deuda financiera constaba en un

40,37 % de obligaciones financieras (créditos con entidades bancarias) y un 59,63 % de bonos emitidos; sin embargo, ha habido una variación significativa en la composición de dicha deuda, pues, al finalizar 2023, constaba en un 18,95 % de obligaciones financieras y en un 81,05 % de bonos emitidos. De otro lado, al finalizar 2016, el ROE fue de 18,37 %, mientras que, en 2023, disminuyó a 15,08 %.

ISA tiene denominado sus pasivos financieros en los bonos con indexaciones al IPC (índice de precios al consumidor) en Colombia, al IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) en Brasil, y en tasas fijas en Chile y los demás países. Y en las obligaciones financieras, con indexaciones a la IBR 6M (indicador bancario de referencia) en Colombia, el SOFR (Secured Overnight Financing Rate) en Perú, la TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) en Brasil, la TAB 360 (tasa activa bancaria) en Chile y tasa fija en los demás países. La exposición a la variabilidad de las tasas de interés y los costos de la deuda se evidencian principalmente en las obligaciones financieras, en tanto tienen relación directa con los índices macroeconómicos a los que está indexada, mientras que el costo de los bonos tiene una tendencia más estable en el período de estudio (2016-2023).

Estudios previos en el sector energético muestran que las empresas con alto endeudamiento pueden mejorar su rentabilidad en períodos de estabilidad económica, pero enfrentan mayores riesgos en tiempos de incertidumbre; en Brasil, por ejemplo, las empresas energéticas ajustaron sus niveles de deuda tras la crisis económica de 2015, reestructurando sus pasivos para mejorar su solvencia y mitigar el riesgo (Kuroda & Moralles, 2019). En Colombia, estudios de empresas energéticas en el período 2014-2019 revelaron que aquellas con mayores niveles de deuda enfrentaron mayores riesgos financieros, aunque también lograron aprovechar oportunidades de crecimiento a través del financiamiento externo (Feuillet Alzate *et al.*, 2022). De manera similar, se ha demostrado que el apalancamiento financiero influye de manera significativa en la rentabilidad de las empresas que cotizan en la Bolsa de Valores de Lima: un análisis de las empresas del sector industrial encontró que un 21,85 % de la rentabilidad era explicada por el apalancamiento financiero. (Casamayou Calderón, 2019)

Este estudio tiene en consideración el análisis de los datos financieros de ISA en el período 2016-2023 a través de métricas de endeudamiento y rentabilidad, evaluando el impacto del apalancamiento financiero en la rentabilidad mediante un modelo econométrico. Con todo, no es de su alcance abordar otros factores externos como las fluctuaciones impredecibles en las políticas regulatorias o los cambios bruscos en el mercado energético colombiano, y las variabilidades macroeconómicas atípicas que pueden afectar la estabilidad de la Compañía sin relación directa con sus decisiones financieras.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un modelo cuantitativo que relacione el nivel de endeudamiento y la rentabilidad de Interconexión Eléctrica S. A. (ISA) en el período 2016-2023.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la deuda financiera de la Compañía en la variabilidad de la rentabilidad, con observaciones del período 2016-2023.
- Analizar los resultados obtenidos sobre la relación entre el endeudamiento y la rentabilidad de la Compañía, integrando el análisis cuantitativo del modelo y los datos históricos de la rentabilidad.
- Realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo las variables de endeudamiento financiero afectan la rentabilidad de la Compañía en distintos escenarios.

2. Marco de referencia conceptual

2.1 Endeudamiento y estructura de capital

El nivel de endeudamiento de una empresa es una de las variables más importantes en su estructura de capital. Según la teoría del *trade-off* (Modigliani & Miller, 1958), las empresas buscan equilibrar los beneficios fiscales del endeudamiento con los costos de una mayor exposición al riesgo de insolvencia.

La deuda puede ser una herramienta de apalancamiento financiero, lo cual significa que el uso de fondos prestados puede aumentar la rentabilidad de los accionistas, siempre y cuando la rentabilidad generada por los activos financiados con deuda sea superior al costo de ella (Jensen & Meckling, 1976). No obstante, un alto nivel de endeudamiento también puede incrementar el riesgo financiero, ya que una mayor proporción de deuda implica mayores obligaciones de pago fijo en forma de intereses, lo cual puede ser insostenible en períodos de bajos ingresos.

En este contexto, trabajos como el de Murga y Varas (2020), que examinó la relación entre el grado de endeudamiento y la rentabilidad en empresas industriales, encontró una correlación positiva entre estas variables, siempre que el endeudamiento se mantuviera en niveles manejables. El apalancamiento financiero, entonces, puede ser una herramienta útil para aumentar la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE), pero solo hasta un punto donde el riesgo no comprometa la estabilidad de las empresas.

2.2 El ROE como métrica de rentabilidad

El *return on equity* (ROE) es una de las métricas más comunes utilizadas para medir la rentabilidad de una empresa desde la perspectiva de los accionistas. Este indicador, que muestra el rendimiento que obtienen los accionistas sobre su inversión, se calcula dividiendo el beneficio neto por el patrimonio neto. El ROE es especialmente relevante en estudios de rentabilidad, debido a que incorpora el efecto de la estructura de capital de una empresa, es decir, que el uso de deuda puede amplificar o reducir la rentabilidad sobre el capital propio dependiendo del costo de la deuda y de la capacidad de las empresas para generar utilidades. (Damodaran, 2015)

El ROE es impactado por el apalancamiento financiero y la eficiencia de la operación. Un mayor apalancamiento puede aumentar el ROE, siempre y cuando las empresas sean capaces, mediante la operación, de generar una rentabilidad sobre sus activos y/o patrimonio mayor que el costo de la deuda de la que se apalanca: el servicio de la deuda y los intereses financieros. Con todo, un apalancamiento excesivo también puede aumentar la volatilidad del ROE y los riesgos financieros. (Titman & Wessels, 1988)

2.3 La teoría del apalancamiento financiero y la rentabilidad

La teoría del apalancamiento financiero sostiene que una empresa puede aumentar la rentabilidad de los accionistas mediante el uso de deuda, siempre y cuando el retorno generado por los activos

adquiridos con dicha deuda sea superior a su costo (Ross *et al.*, 2016). Este concepto se basa en la relación entre el ROE y la estructura de capital de las empresas, ya que un mayor nivel de deuda significa una menor proporción de capital propio en la estructura financiera, lo que aumenta el ROE si la operación genera mayor rentabilidad que el costo financiero.

El apalancamiento financiero es una herramienta ampliamente utilizada en la gestión de las empresas para aumentar la rentabilidad sobre el capital propio (ROE) mediante la toma de deuda. Según los fundamentos teóricos, su principio sugiere que si la rentabilidad sobre sus activos (ROA, *return on assets*) es mayor en comparación con el costo de la deuda, la diferencia puede traducirse en ganancias adicionales para los accionistas, lo que a su vez aumenta la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE); generalmente, esto es denominado *apalancamiento positivo*. En todo caso, el uso del apalancamiento conlleva riesgos, especialmente cuando se adquiere en un entorno de alta volatilidad o incertidumbre económica, donde las características de la deuda están directamente relacionadas o indexadas con el comportamiento de estas variables externas o macroeconómicas.

Basado en los postulados de Modigliani y Miller (1958), las empresas pueden mejorar su rentabilidad neta a través del uso de deuda solo si los retornos generados por sus activos (ROA) superan los costos financieros del servicio de la deuda. Esta consideración es fundamental en la estructura de capital de las empresas, ya que posibilita un mayor uso del financiamiento externo sin diluir el patrimonio de los accionistas. Además, el apalancamiento ofrece beneficios fiscales debido a la deducción de intereses de la base gravable de impuestos, lo que mejora aún más la rentabilidad neta: la rentabilidad operativa menos los gastos financieros e impuestos.

2.3.1 Impacto del apalancamiento financiero en la rentabilidad

Según Abbas (2023), la relación entre el apalancamiento financiero y la rentabilidad de una empresa es positiva cuando los rendimientos obtenidos de las actividades de operación pueden cubrir el costo de la deuda; un alto nivel de deuda aumenta los riesgos financieros, y así la rentabilidad a largo plazo podría verse reducida por estos.

Husna y Satria (2019) utilizaron un modelo de regresión lineal múltiple para explicar cómo influye la deuda en la rentabilidad a lo largo del tiempo, y concluyeron que, en contextos estables, existe una relación positiva entre estos factores.

El estudio Murga y Varas (2020) mencionado anteriormente determinó que el apalancamiento financiero es beneficioso para las empresas del sector industrial hasta un cierto nivel óptimo de endeudamiento, puesto que, después de este punto, el costo de la deuda puede superar la rentabilidad generada por la operación, lo que lleva a una disminución de la rentabilidad neta. Su trabajo destacó la importancia de gestionar el nivel de endeudamiento dependiendo de la estabilidad de las ventas de las empresas y las condiciones macroeconómicas a la que pueda estar indexada la deuda, a fin de eliminar el apalancamiento negativo.

Es importante diferenciar el *apalancamiento operativo* del *apalancamiento financiero*. El primero se relaciona con el uso de la deuda para financiar las operaciones, mientras que el segundo se relaciona con la estructura de costos de una empresa. Empresas con altos costos fijos y bajos costos variables tienden a tener un mayor apalancamiento operativo, lo que significa que cambios en los ingresos tienen un impacto más significativo en la rentabilidad.

2.4 Aplicación de modelos econométricos

Para analizar la relación entre el nivel de endeudamiento y la rentabilidad en una empresa, es común emplear modelos econométricos que permitan estimar la magnitud y la dirección de esta relación. Un enfoque frecuente en la literatura financiera es el uso de modelos de regresión lineal múltiple, donde se modela la rentabilidad —usualmente medida a través del ROE o el ROA— como variable dependiente. Según Gujarati y Porter (2009), un modelo de regresión lineal múltiple es una herramienta útil para identificar la relación entre estas variables, debido a su capacidad para controlar múltiples variables explicativas simultáneamente, lo que permite estimar el efecto independiente del endeudamiento sobre la rentabilidad mientras se controlan otros factores relevantes.

3. Metodología

3.1 Enfoque de la investigación

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo, dado que su objetivo es medir y analizar la relación entre dos variables financieras claves: nivel de endeudamiento y rentabilidad. El diseño fue correlacional y no experimental, en tanto no se manipularon las variables, sino que se analizaron los datos históricos de la Compañía en el período 2016-2023. Este enfoque permite identificar la magnitud y la dirección de la relación entre ambas variables.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es longitudinal, dado que se analizan datos financieros históricos de la Compañía durante un período de ocho años. Esto permitió identificar patrones y tendencias en la relación entre endeudamiento y rentabilidad.

3.3 Población y muestra

La población del estudio está constituida por los datos financieros de ISA en el período 2016-2023, recolectados en una serie de tiempo mensual; cabe aclarar que son la totalidad de ellos, no una muestra. Las fuentes de datos son los informes financieros anuales y trimestrales de la Compañía, disponibles en la página web oficial y en la Superintendencia Financiera de Colombia, así como en los datos de valoración dispuestos por el departamento de Relations Investors de la Compañía.

3.4 Método de análisis y simulación

En principio se aplicó un modelo cuantitativo de regresión lineal múltiple bajo el método OLS para determinar la relación entre el nivel de endeudamiento y la rentabilidad de la Compañía. La ecuación básica planteada fue la siguiente:

$$ROE = \beta_0 + \beta_1(Of) + \beta_2(B) + \beta_3(Cd) + \beta_4(Cb) + \beta_5(EBITDA) + \beta_6(D/A)$$

Donde:

Of: saldo en COP de las obligaciones financieras.

B: saldo en COP de los bonos emitidos.

Cd: porcentaje del costo de las obligaciones financieras (anualizado).

Cb: porcentaje del costo de los bonos (anualizado).

EBITDA: métrica de generación de los resultados operacionales.

D/A: relación total de la deuda financiera sobre el total de los activos.

β_0 : intercepto.

$\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5$: coeficientes que miden el impacto de cada variable independiente sobre la rentabilidad.

Este modelo permitió determinar cómo los distintos componentes del endeudamiento financiero, específicamente las obligaciones financieras —como los préstamos bancarios— y los bonos emitidos influyen en la rentabilidad de la Compañía. El enfoque mediante regresión lineal múltiple permitió determinar si existe una relación significativa, positiva o negativa, entre estas variables y la rentabilidad. Sin embargo, luego de los resultados de la estimación del modelo OLS —que se describe en el Capítulo 4, “Resultados”—, se observaron factores de inflación de la varianza (*variance inflation factors*, VIF) elevados para algunas variables independientes, con valores significativamente superiores a 5, aunque aún por debajo del umbral crítico de 10.

Este resultado indicó la presencia de cierta multicolinealidad que, si bien no es extrema, puede afectar la estabilidad de los coeficientes estimados. Por este motivo se aplicó la regresión Ridge como alternativa, a fin de regularizar los coeficientes y reducir el impacto de la multicolinealidad sin eliminar variables explicativas relevantes. A través de esta estimación, con el modelo de regresión Ridge se obtuvieron mejores indicadores tanto en los VIF como en las pruebas de robustez del modelo.

Para validar los resultados se utilizaron indicadores estadísticos como el R-cuadrado ajustado, que determinó el grado en el que las variables explicativas predicen la variabilidad en la rentabilidad. El *p*-valor de cada variable explicativa sirvió para determinar la significancia estadística de los coeficientes obtenidos, es decir, si su impacto sobre la rentabilidad ajustada es estadísticamente relevante. Además, se realizaron pruebas de robustez para evaluar la consistencia del modelo, a fin de verificar que los resultados no dependan de singularidades o alteraciones en los datos o de las características del diseño del modelo. Esto garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos sobre el impacto del endeudamiento financiero en la rentabilidad de la Compañía —que se describen en el Apéndice 2 “Información complementaria del modelo Ridge sobre OLS”—.

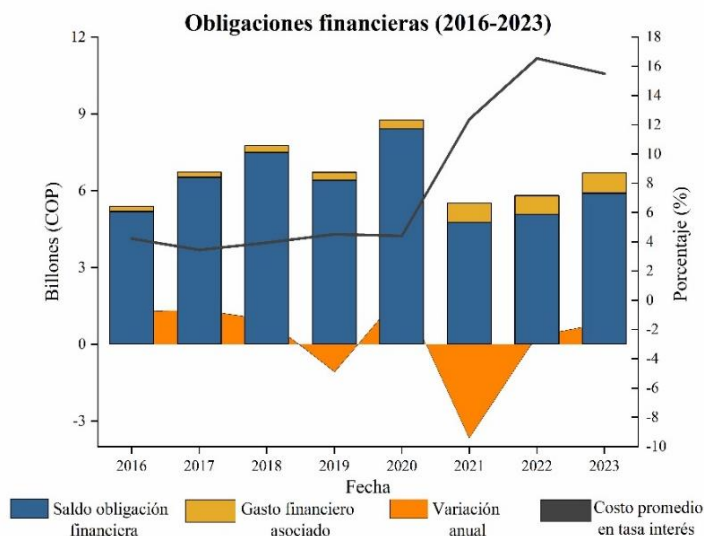
4. Resultados

4.1 Rentabilidad (ROE) y deuda histórica de ISA

La información histórica sobre los componentes de la deuda financiera de ISA el período 2016-2023 se muestra a continuación.

Respecto a las obligaciones financieras [Figura 1], el saldo adeudado se mantuvo relativamente estable entre 2016 y 2020, pero en 2021 hubo una caída abrupta seguida de un repunte en 2022 y un leve incremento en 2023. El costo promedio de financiamiento en las tasas de interés se incrementó fuertemente desde 2021, lo cual sugiere un entorno financiero más costoso y un aumento del riesgo percibido, supuesto por el comportamiento macroeconómico y de las tasas de interés por efectos de la pandemia. La variación anual fue negativa en 2019 y 2021, lo que indica amortizaciones y/o cancelaciones significativas, especialmente en 2021.

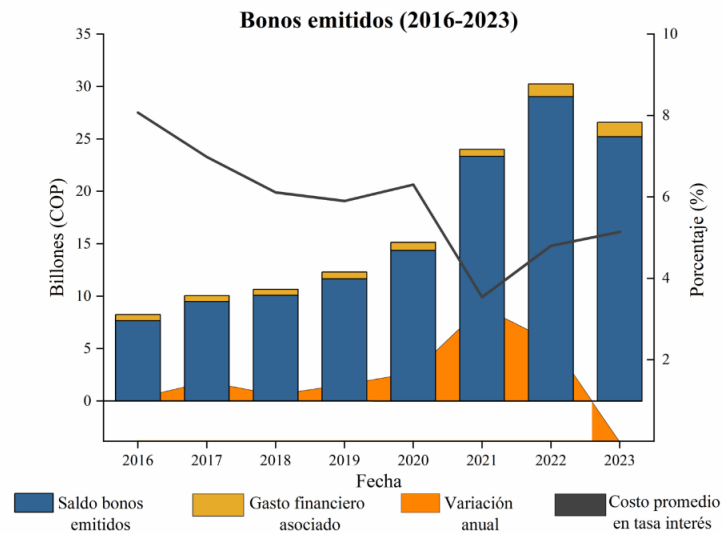
Figura 1. Interconexión Eléctrica (ISA). Obligaciones financieras (2016-2023)



Fuente: elaboración del autor.

Respecto a los bonos emitidos [Figura 2], a partir de 2020 se observa un incremento fuerte en la emisión de bonos, que alcanzó el pico en 2022. En paralelo, el costo promedio de los bonos fue más estable y más bajo que el de las obligaciones financieras, lo que puede indicar una estrategia para financiarse a menor costo. La variación anual positiva en 2021 y 2022 sugiere un uso intensivo del endeudamiento por esta vía, frente a la disminución significativa de las obligaciones financieras en el mismo año.

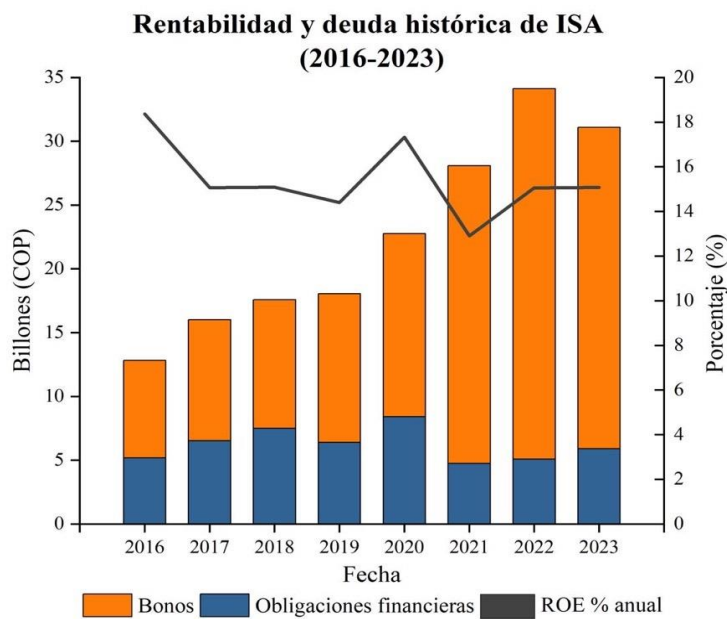
Figura 2. Interconexión Eléctrica (ISA). Bonos emitidos (2016-2023)



Fuente: elaboración del autor.

Ambos componentes conforman la deuda financiera de ISA, que, al compararse con el ROE histórico en las mismas fechas, evidencia que este cayó entre 2016-2021, especialmente en 2021, donde también se observa una disminución en las obligaciones financieras. En 2022 y 2023, el ROE se recuperó hacia niveles cercanos al 15-16 %, lo cual, se supone, puede estar relacionado con un mejor uso de los recursos captados vía bonos. El endeudamiento total (bonos + obligaciones financieras) creció considerablemente, especialmente entre 2020 y 2022, lo que indica un mayor apalancamiento financiero [Figura 3].

Figura 3. Interconexión Eléctrica (ISA). Rentabilidad y deuda histórica (2016-2023)



Fuente: elaboración del autor.

4.2 Resultados del modelo de regresión mínimos cuadrados ordinarios (OLS)

A partir de los datos históricos visualizados en las figuras del apartado anterior, se aplicó la primera parte de la metodología descrita para diseñar un modelo de regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). Las variables independientes fueron seleccionadas cuidadosamente para reflejar diferentes dimensiones del endeudamiento financiero: obligaciones financieras, bonos emitidos, costos financieros asociados y generación operativa medida a través del Ebitda, además del índice deuda-activos. Las estimaciones obtenidas por este modelo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimación de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios (OLS)

ESTIMACIÓN REGRESIÓN MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS (OLS)					
Variable independiente	Coefficiente	Error estándar	<i>t value</i>	Valor <i>p</i>	Significancia
(Intercepto)	-3,03933	1,30526	-2,329	0,02215	*
Obligaciones financieras	0,03733	0,04203	0,888	0,37675	
Bonos	-0,11534	0,03981	-2,897	0,00474	**
Costo obligaciones	1,89343	3,29138	0,575	0,56656	
Costo bonos	-3,00091	5,90180	-0,508	0,61238	
Ebitda	0,21372	0,03100	6,894	0,000000000754	***
Deuda financiera / activos	0,30312	0,38548	-0,786	0,43375	
Significancia	*** $p < 0,001$	** $p < 0,01$	* $p < 0,05$		
Estadísticas del modelo					
<i>R-squared</i>	0,3968				
<i>Adjusted R-squared</i>	0,3561				
<i>Residual standard error</i>	0,0645				
<i>F-statistic</i>	9,758				
<i>p-value</i>	0,00000003026				

Fuente: elaboración del autor.

Los resultados del modelo OLS mostraron un R-cuadrado ajustado de 0,3561, lo que indica que, aproximadamente, el 35,61 % de la variabilidad del ROE puede explicarse a partir de las variables independientes consideradas en el modelo. Si bien este valor puede parecer moderado, se ajusta satisfactoriamente al objetivo del estudio, ya que la rentabilidad es típicamente influenciada por múltiples factores adicionales externos al alcance específico de esta investigación, como factores macroeconómicos, regulatorios y operativos internos.

La regresión reveló que dos variables presentaron significancia estadística en relación con el ROE, a saber:

- Bonos emitidos (saldo en COP): con un coeficiente estimado de -0,11534 y un valor *p* de 0,00417, indica una relación negativa y estadísticamente significativa con el ROE. Esto implica que incrementos en el saldo de los bonos emitidos tienden a reducir la rentabilidad, posiblemente

debido al aumento de los compromisos financieros y los costos asociados que afectan negativamente el rendimiento del patrimonio. (Wieczorek-Kosmala *et al.*, 2021)

- Ebitda: presentó un coeficiente positivo de 0,21372 con un valor p extremadamente bajo ($7,54e-10$), lo que indica una relación positiva fuerte y significativa con el ROE. Este resultado confirma la importancia de la generación operativa como fuente principal de la rentabilidad empresarial, destacando que mejores resultados operativos potencian directamente la rentabilidad patrimonial. (Nezlobin *et al.*, 2021)

De otro lado, las variables Obligaciones financieras, Costo de obligaciones financieras, Costo de bonos y Relación deuda-activos no mostraron resultados estadísticamente significativos ($p > 0,05$); sin embargo, muestra su influencia sobre el ROE a través de la estimación del coeficiente. Esto puede sugerir que, en el período analizado (2016-2023), estos factores no tuvieron un impacto consistente o suficientemente fuerte para explicar variaciones significativas en el ROE, más aún cuando, frente a la subida de las tasas de interés para las obligaciones financieras, la sustituye por otra fuente de financiación como los bonos emitidos, que históricamente muestran un costo financiero más estable, evidenciando la gestión activa del endeudamiento financiero de la Compañía.

Luego de la estimación inicial del modelo de regresión por mínimos cuadrados ordinarios (OLS), se procedió a evaluar la presencia de multicolinealidad entre las variables independientes mediante el cálculo del *variance inflation factor* (VIF). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo OLS

VARIANCE INFLATION FACTOR (VIF), MODELO OLS	
VARIABLE INDEPENDIENTE	VIF
Obligaciones financieras	1,812393
Bonos	8,162135
Costo obligaciones	4,841017
Costo bonos	1,610351
Ebitda	2,798052
Deuda financiera / activos	2,532373

Fuente: elaboración del autor.

Valores de VIF superiores a 5 indican una multicolinealidad moderada, mientras que valores superiores a 10 indicarían una multicolinealidad severa si los hubiese. En este caso, la variable Bonos presenta un VIF de 8,162 —el más alto respecto a las demás—, lo que evidencia una multicolinealidad significativa. Esta situación puede inflar las varianzas de los coeficientes estimados haciendo que las inferencias estadísticas sean menos confiables y que los coeficientes sean sensibles a pequeñas variaciones en los datos.

Para mitigar los efectos adversos de la multicolinealidad y obtener estimaciones más estables y confiables se optó por emplear la regresión Ridge. Este método introduce un término de penalización en la función de pérdida que reduce la magnitud de los coeficientes de regresión,

especialmente aquellos asociados con variables altamente correlacionadas. Al hacerlo, la regresión disminuye la varianza de los estimadores, mejorando la estabilidad del modelo sin eliminar variables predictoras importantes que se consideraron en el modelo OLS.

La información complementaria del modelo OLS se detalla en el Apéndice 1, “Información complementaria del modelo original de mínimos cuadrados ordinarios (OLS)”.

4.3 Resultados del modelo de regresión Ridge sobre OLS

Luego de identificar los signos de multicolinealidad en el modelo OLS, especialmente en la variable Bonos (VIF = 8,162), se aplicó una regresión Ridge como técnica de regularización para mejorar la estabilidad de las estimaciones. Esta regresión penaliza los coeficientes de regresión reduciendo su magnitud y, por ende, mitigando la varianza inflada causada por la multicolinealidad.

La Tabla 3 muestra los coeficientes estimados por el modelo Ridge junto con sus respectivos VIF.

Tabla 3. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimaciones del modelo Ridge: coeficientes regularizados y VIF

ESTIMACIÓN DE LA REGRESIÓN RIDGE		
Variable independiente	Coefficiente	VIF
(Intercepto)	-3,33862	N/A
Obligaciones financieras	0,03832	1,00051
Bonos	-0,07708	1,00208
Costo obligaciones	0,58880	1,13852
Costo bonos	-1,51359	5,11545
Ebitda	0,18328	1,01191
Deuda financiera / activos	-0,41083	1,06320
Estadísticas del modelo		
<i>R-squared ridge model</i>	0,3875	
<i>RMSE ridge model</i>	0,0626	

Fuente: elaboración del autor.

Los VIF en el modelo Ridge se redujeron significativamente en comparación con los del modelo OLS, con valores cercanos a 1, lo que indica una mitigación efectiva de la multicolinealidad. Con los nuevos coeficientes estimados, se interpreta lo siguiente:

- Bonos: el coeficiente negativo (-0,07708) sugiere que un aumento en el saldo de los bonos emitidos está asociado con una disminución en el ROE, aunque el efecto es menos pronunciado que en el modelo OLS.
- Ebitda: el coeficiente positivo (0,18328) indica que una mayor generación operativa se relaciona con un aumento en la rentabilidad sobre el patrimonio.
- Costo bonos: el coeficiente negativo (-1,51359) evidencia que un mayor costo de los bonos está asociado con una reducción en el ROE, lo que resalta la importancia de gestionar eficientemente los costos financieros.

- Deuda total activos: el coeficiente negativo ($-0,41083$) sugiere que un mayor apalancamiento financiero, medido como la relación Deuda total sobre Activos, podría estar vinculado a una menor rentabilidad.
- Obligaciones financieras y Costo obligaciones: aunque presentan coeficientes positivos, su magnitud es menor, lo que indica un impacto más moderado en la rentabilidad.

Respecto a los estadísticos del modelo Ridge, el R-cuadrado de 0,3875 es comparable al R-cuadrado ajustado del modelo OLS (0,3561), e indica que el modelo Ridge mantiene una capacidad explicativa similar mientras mejora la estabilidad de los coeficientes. Adicionalmente, el RMSE de 0,0626 es ligeramente inferior al error estándar residual del modelo OLS (0,0645), lo que sugiere una mejora en la precisión predictiva del modelo Ridge.

Las pruebas del modelo Ridge se detallan en el Apéndice 2, “Información complementaria del modelo Ridge sobre OLS”.

4.4 Resultados predictivos sobre el ROE por cambios en las variables

El modelo de regresión Ridge desarrollado permitió evaluar cómo las variaciones en las variables financieras claves impactan la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE) de la Compañía. El siguiente análisis de sensibilidad se centra en los efectos de los cambios porcentuales en el saldo de las obligaciones financieras y los bonos emitidos, manteniendo constantes las demás variables del modelo.

4.4.1 Impacto de las variaciones en el saldo de los bonos emitidos

El coeficiente estimado para la variable Bonos en el modelo Ridge es $-0,07708$, lo que indica una relación inversa con el ROE. Esto implica que un aumento en el saldo de los bonos emitidos tiende a reducir la rentabilidad sobre el patrimonio. Por ejemplo, un incremento del 5 % en el saldo de los bonos emitidos resultaría en una disminución del ROE de aproximadamente $0,07708 \times 5 \% = -0,3854$ puntos porcentuales. De otro lado, un incremento del 10 % en el saldo de los bonos emitidos llevaría a una reducción del ROE de aproximadamente $0,07708 \times 10 \% = -0,7708$ puntos porcentuales.

Estos cálculos ilustran la sensibilidad del ROE a los cambios en el nivel de endeudamiento mediante los bonos y destacan la importancia de una gestión prudente de esta fuente de financiamiento.

4.4.2 Impacto de las variaciones en el saldo de las obligaciones financieras

El coeficiente para la variable Obligaciones financieras es 0,03832, lo que sugiere una relación positiva con el ROE. Esto indica que los aumentos en las obligaciones financieras podrían asociarse con incrementos en la rentabilidad sobre el patrimonio, aunque el efecto es menos pronunciado que en el caso de los bonos.

Por ejemplo, un aumento del 5 % en el saldo de las obligaciones financieras podría incrementar el ROE en aproximadamente $0,03832 \times 5 \% = 0,1916$ puntos porcentuales. De otro lado, un aumento del 10 % en el saldo de obligaciones financieras podría elevar el ROE en aproximadamente $0,03832 \times 10 \% = 0,3832$ puntos porcentuales.

Estos resultados sugieren que, en el contexto del modelo, las obligaciones financieras tienen un impacto positivo moderado en la rentabilidad, siempre y cuando se mantenga estable la tasa de interés, lo que podría reflejar una utilización eficiente de este tipo de financiamiento.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El análisis realizado a la compañía ISA para el período 2016-2023, basado en el modelo Ridge sobre OLS, evidencia una relación inversa significativa entre el nivel de endeudamiento financiero y la rentabilidad sobre el patrimonio (ROE). En particular, el indicador D/A (deuda financiera sobre total de activos) y los bonos emitidos mostraron coeficientes negativos respecto al ROE, lo que implica que, un mayor apalancamiento, principalmente vía bonos, se asocia con una disminución en la rentabilidad del patrimonio. Este hallazgo es consistente con estudios en el sector energético, que muestran que un incremento en la carga de la deuda tiende a disminuir la rentabilidad. Según Wiczorek-Kosmala *et al.* (2021), en las empresas eléctricas de diferentes regiones se han documentado efectos adversos de la deuda elevada sobre el desempeño, que refuerzan el supuesto de que un apalancamiento excesivo puede erosionar la rentabilidad.

Desde una perspectiva teórica, según Samour *et al.* (2024), los resultados respaldan las predicciones de la teoría de la jerarquía financiera (*pecking order*), que sugiere que las empresas más rentables prefieren financiarse con recursos propios y utilizan deuda solo cuando es estrictamente necesario. Esto se refleja en ISA en los años donde la empresa generó mayores utilidades retenidas —entre 2016 y 2019—, cuando la dependencia de la deuda externa tendió a ser menor, mientras que en períodos de menores márgenes —entre 2020 y 2022— se observó un incremento del apalancamiento, principalmente vía los bonos emitidos.

De igual forma, Arhinful y Radmehr (2023) afirmaron que puede haber un comportamiento inverso postulado por la teoría del *trade-off*. Si bien un nivel moderado de deuda puede ofrecer beneficios fiscales (escudo fiscal), al sobrepasar cierto umbral óptimo, los costos financieros (intereses) reducen el beneficio neto de la deuda. Esto se evidencia en el modelo Ridge desarrollado para ISA, pues los costos de los bonos (gastos financieros) tienen un impacto negativo sobre el ROE; es decir, que a mayor gasto por intereses en bonos emitidos, menor rentabilidad para los accionistas, un resultado esperable, dado que los gastos financieros erosionan las utilidades netas.

Los resultados también sugieren que no todos los tipos de deuda impactan la rentabilidad por igual. En particular, se observó en ISA que la deuda de largo plazo (la emisión de bonos) está más fuertemente asociada con la disminución del ROE, mientras que un mayor peso de la deuda de corto plazo (las obligaciones financieras, principalmente bancarias) no genera el mismo efecto adverso e incluso podría relacionarse positivamente con la rentabilidad. Este hallazgo, aunque debe interpretarse con precaución, se alinea con estudios previos que distinguen entre los efectos de la deuda a corto y largo plazo, como el de Wiczorek-Kosmala *et al.* (2021), que encontró, en un análisis de compañías energéticas europeas, que el endeudamiento total y de largo plazo exhibe una relación inversa con la rentabilidad, mientras que un mayor financiamiento de corto plazo se

asocia a un ligero aumento en la rentabilidad, consistente con la existencia de un equilibrio óptimo entre el escudo fiscal de la deuda y sus costos financieros.

En el caso de ISA, el efecto relativamente menos significativo de la deuda de corto plazo (las obligaciones financieras) podría deberse a que esta se utiliza para proyectos de rápida generación de ingresos aprovechando tasas de interés estables a corto plazo; no obstante, el endeudamiento de largo plazo, que usualmente financia proyectos de gran infraestructura energética o de concesiones viales, implica compromisos financieros prolongados que terminan reduciendo la rentabilidad.

Esto podría suponer que la composición de la deuda es un factor significativo frente a la rentabilidad: una estructura de capital orientada hacia deudas de grandes cuantías y de largo vencimiento puede disminuir la rentabilidad, mientras que una gestión cuidadosa de las deudas de corto plazo para necesidades transitorias (como capital de trabajo) podría mitigar parcialmente el impacto negativo en el ROE.

En definitiva, el estudio concluye que mantener el endeudamiento bajo control resulta fundamental para proteger la rentabilidad de la Compañía. En línea con la evidencia obtenida, ISA debería no depender en exceso de la deuda de largo plazo para financiar su crecimiento, sino considerar alternativas como la reinversión de las utilidades, la emisión de acciones u otros instrumentos de capital. Estas acciones también estarían fundamentadas en la calificación crediticia de la Compañía.

5.2 Recomendaciones

A partir de los hallazgos del modelo econométrico aplicado a los datos financieros de ISA en el período 2016-2023, se identificaron elementos relevantes para optimizar las decisiones estratégicas relacionadas con el endeudamiento y su efecto sobre la rentabilidad (ROE). Dado que el coeficiente del saldo de bonos emitidos resultó negativo y estadísticamente significativo tanto en el modelo OLS como en el modelo regularizado Ridge, se recomienda a la administración de la Compañía que contemple mecanismos de control que relacionen la efectividad de las emisiones de deuda de largo plazo, particularmente en forma de bonos, frente a la generación de resultados operativos (Ebitda) para los cuales se obtuvo dicha financiación. Este tipo de financiamiento, si bien útil para proyectos de infraestructura de gran escala, ha mostrado una relación consistente con reducciones del ROE, lo cual sugiere que los beneficios fiscales de la deuda han sido superados por los costos financieros en ciertos tramos del período estudiado. Así, se recomienda evaluar el retorno de los proyectos financiados con bonos frente al costo efectivo de colocación, a fin de mantener un apalancamiento que agregue valor económico.

Los resultados del modelo refuerzan la necesidad de que los inversionistas evalúen no solo el volumen de la deuda, sino su tipo, costo y destino de financiación. El modelo sugiere que mayores resultados del Ebitda explican un incremento estadísticamente significativo en el ROE, mientras que el aumento en los pasivos financieros, especialmente a través de los bonos, disminuye la rentabilidad. Por tanto, se sugiere que analistas e inversionistas institucionales incorporen en sus

valoraciones la descomposición de los pasivos financieros, diferenciando entre fuentes de corto y largo plazo y analizando el impacto neto de los nuevos proyectos sobre el rendimiento patrimonial.

Para los investigadores y académicos, este trabajo sugiere nuevas líneas de estudio aplicables al sector de la infraestructura energética. La evidencia obtenida para ISA demuestra que el análisis de rentabilidad no debe limitarse a métricas agregadas como la deuda total, la relación D/A o cobertura sobre el Ebitda, entre otras, sino que es fundamental incorporar variables diferenciadas que permitan identificar los efectos particulares de cada componente del apalancamiento y contrastarlos con las nuevas definiciones estratégicas de la Compañía que requieren financiación. De igual forma, el uso complementario de modelos OLS y Ridge resulta metodológicamente valioso cuando se detecta multicolinealidad moderada en las regresiones, en tanto permite una interpretación más estable y robusta de los coeficientes. Adicionalmente, se recomienda que en investigaciones futuras se incluyan variables macroeconómicas como el crecimiento del PIB, la inflación, las tasas de interés y el riesgo de mercado, entre otras, y variables sectoriales como los precios de la energía, la regulación tarifaria y las inversiones en innovación o sostenibilidad, a fin de evaluar cómo condicionan la relación entre endeudamiento y rentabilidad.

Finalmente, puede afirmarse que, basado en esta investigación, un uso estratégico y diferenciado del endeudamiento puede proteger y fortalecer la rentabilidad de empresas como ISA.

Referencias

- Abbas, A. A. M., Hajee, M. A. M., & Al-Absy, M. S. M. (2023). *The impact of liquidity, financial leverage, and profitability on dividends*. SpringerLink.
- Arhinful, R., & Radmehr, M. (2023). The impact of financial leverage on the financial performance of the firms listed on the Tokyo Stock Exchange. *SAGE Open*, 13(4), s. pp. <https://doi.org/10.1177/21582440231204099>
- Casamayou Calderón, E. T. (2019). Apalancamiento financiero y su influencia en la rentabilidad de las empresas, período 2008-2017. *Quipukamayoc*, 27(53), 33-39. DOI: 10.15381/quipu.v27i53.15983
- Damodaran, A. (2015). *Applied Corporate Finance*. John Wiley & Sons.
- Feuillet Alzate, J., Correa García, J. A., Ceballos García, D. (2019). Desempeño financiero y operativo del sector energético colombiano en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Revista CEA*, 8(18), s. pp. DOI: <https://doi.org/10.22430/24223182.2022>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5.^a ed.). McGraw-Hill.
- Husna, A., & Satria, I. (2019). Effects of return on asset, debt to asset ratio, current ratio, firm size, and dividend payout ratio on firm value. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 9(1), 50-54. DOI: 10.32479/ijefi.8595
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs, and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)
- Kuroda, A., & Morales, H. (2019). The effects of financial leverage and debt maturity on the investments of Brazilian electric sector companies. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, s. d. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v21i3.4004>
- Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment. *The American Economic Review*, 48(3), 261-297. <https://www.jstor.org/stable/1812919>
- Murga Amancio, P. J., & Varas Vega, A.M. (2020). *Grado de endeudamiento y su relación con la rentabilidad en las empresas del sector industrial. Perú, 2019*. Universidad Privada del Norte. Repositorio UPN. <https://hdl.handle.net/11537/27551>
- Nezlobin, A., Rajan, M. V., & Reichelstein, S. (2021). Profitability measures and EBITDA. *Review of Accounting Studies*, 26(1), 430-469.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2016). *Corporate Finance* (11.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Samour, A., AlGhazali, A., Gadoiu, M., & Banuta, M. (2024). Capital structure and financial performance of China's energy industry: What can we infer from Covid-19. *PLoS ONE*, 19(6), s. pp. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300936>
- Titman, S., & Wessels, R. (1988). The determinants of capital structure choice. *The Journal of Finance*, 43(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1988.tb02585.x>

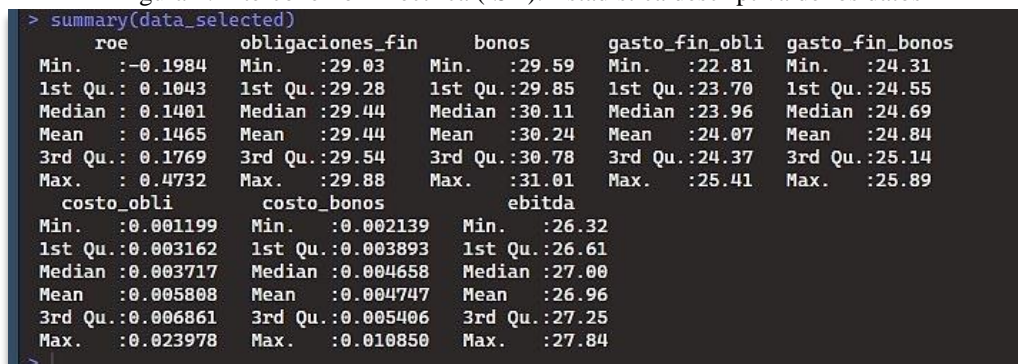
Wieczorek-Kosmala, M., Błach, J., & Gorzeń-Mitka, I. (2021). Does capital structure drive profitability in the energy sector? *Energies*, *14*(16), 4803. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/16/4803>

Apéndices

Apéndice 1. Información complementaria del modelo original de mínimos cuadrados ordinarios (OLS)

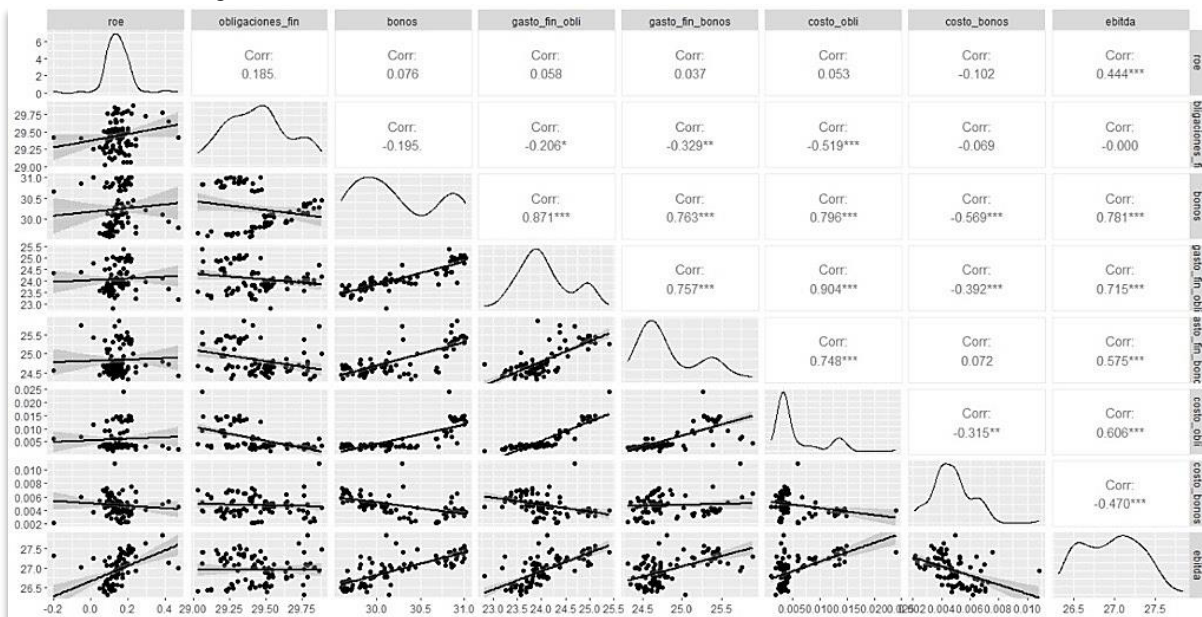
La Figuras 4, 5, 6 y 7 muestran información complementaria tomada directamente del modelo trabajado en R-Studio.

Figura 4. Interconexión Eléctrica (ISA). Estadística descriptiva de los datos



Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Figura 5. Interconexión Eléctrica (ISA). Matriz de correlaciones. Modelo OLS



Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Figura 6. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimaciones modelo OLS

```
> summary(mod_final1)

Call:
lm(formula = roe ~ obligaciones_fin + bonos + costo_obli + costo_bonos +
    ebitda + deuda_total_act, data = data, na.action = NULL)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.36401 -0.02249  0.00313  0.02589  0.26087

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -3.03933    1.30526   -2.329  0.02215 *
obligaciones_fin  0.03733    0.04203    0.888  0.37675
bonos         -0.11534    0.03981   -2.897  0.00474 **
costo_obli     1.89343    3.29138    0.575  0.56656
costo_bonos   -3.00091    5.90180   -0.508  0.61238
ebitda        0.21372    0.03100    6.894 7.54e-10 ***
deuda_total_act -0.30312    0.38548   -0.786  0.43375
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0645 on 89 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3968,    Adjusted R-squared:  0.3561
F-statistic: 9.758 on 6 and 89 DF,  p-value: 3.026e-08
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Figura 7. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo OLS

```
> vif(mod_final1)
obligaciones_fin      bonos      costo_obli      costo_bonos      ebitda
1.812393      8.162135      4.841017      1.610351      2.798052
deuda_total_act
2.532373
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Apéndice 2. Información complementaria del modelo Ridge sobre OLS

Las Figuras 8, 9, 10, 11 y 12 muestran información complementaria tomada directamente del modelo trabajado en R-Studio

Figura 8. Interconexión Eléctrica (ISA). Estimación modelo Ridge

```
> coef(ridge_final)
7 x 1 sparse Matrix of class "dgCMatrix"
      s0
(Intercept)  -3.33862228
obligaciones_fin  0.03832119
bonos          -0.07708639
costo_obli     0.58880358
costo_bonos    -1.51359495
ebitda        0.18328440
deuda_total_act -0.41083411
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Figura 9. Interconexión Eléctrica (ISA). Estadísticas R-cuadrado y RMSE del modelo Ridge

```
> print(rmse) > print(r2)
[1] 0.06258617 [1] 0.3874706
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Figura 10. Interconexión Eléctrica (ISA). VIF del modelo Ridge

```
> print(ridge_vif(cv_ridge, lambda = "lambda.min"))
[1] 1.000517 1.002082 1.138523 5.115454 1.011913 1.063207
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Prueba de heterocedasticidad: el valor p (0,33) es mucho mayor que 0,05, así que no se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que no hay evidencia estadísticamente significativa de heterocedasticidad en el modelo.

Figura 11. Interconexión Eléctrica (ISA). Prueba de heterocedasticidad

```
> bptest(mod_final1)

studentized Breusch-Pagan test

data:  mod_final1
BP = 6.9006, df = 6, p-value = 0.3301
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.

Prueba de especificación RESET: el valor p (0,2073) es mucho mayor que 0,05, así que no se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que no hay evidencia estadísticamente significativa de mala especificación en el modelo. La forma funcional lineal es adecuada.

Figura 12. Interconexión Eléctrica (ISA). Prueba de especificación RESET

```
> resettest(mod_final1)

RESET test

data: mod_final1
RESET = 1.6022, df1 = 2, df2 = 87, p-value = 0.2073
```

Fuente: elaboración del autor a partir de R-Studio.